

Aus der Klinik mit Poliklinik für Augenheilkunde
der Universität Erlangen-Nürnberg

Direktor: Professor Dr. G. O. H. Naumann

Das Elektrooculogramm bei Patienten mit perforierenden Augapfel-Verletzungen.

Untersuchung zu der Frage, ob
sich auch am Partnerauge Veränderungen
nachweisen lassen

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt von
Michael Emmrich
aus Weiden

1904



Aus der Klinik mit Poliklinik für Augenheilkunde
der Universität Erlangen - Nürnberg

Direktor: Professor Dr. G. O. H. Naumann

Das Elektrooculogramm bei Patienten mit perforierenden Augapfel-Verletzungen.

Untersuchung zu der Frage, ob
sich auch am Partnerauge Veränderungen
nachweisen lassen

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen - Nürnberg

vorgelegt von
Michael Emmrich
aus Weiden

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg

Dekan : Prof. Dr. F. Wolf

Referent : Priv.-Doz. Dr. R. Rix

Koreferent : Prof. Dr. G.O.H. Naumann

Tag der mündlichen Prüfung : 20. 02. 1984

In Dankbarkeit
meinen Eltern
gewidmet

Inhalt

1. Aufgabenstellung	1
2. Geschichtliche Entwicklung	2
3. Beschreibung der zum EOG führenden morphologischen und funktionellen Gegebenheiten	4
4. Methodik	18
5. Untersuchungsergebnisse	24
6. Diskussion	37
7. Zusammenfassung	40
8. Literatur	41



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546217_0074

Aufgabenstellung

Aus dem Entstehungsort des Elektrooculogramms ergeben sich Diagnosemöglichkeiten bei pathologischen Befunden : Es eignet sich für Aussagen bei Krankheiten, die vorwiegend die äußeren Netzhautschichten, das Pigmentepithel und die Chorioidea betreffen. Das Elektroretinogramm dagegen, dessen Ursprung in der Schicht der bipolaren und der photosensiblen Zellen lokalisiert ist, kann bei Veränderungen auf Erkrankungen in diesem Bereich schließen lassen. So ergeben sich zusammen mit dem ERG und weiteren Untersuchungen gutfundierte Grundlagen für die Diagnose von Augenkrankheiten, von denen die Netzhaut betroffen wird.

Nach Untersuchungen von RIX und Mitarb. (1978) ist das ERG bei perforierenden Hornhautverletzungen (Augapfel-Verletzungen), verursacht durch metallische Fremdkörper, nicht nur - was leichter verständlich ist - am verletzten Auge pathologisch, sondern es hat sich erwiesen, daß auch das nicht betroffene Auge mit beeinflußt wird. Da das EOG in seinem Entstehungsort dem ERG eng benachbart ist, stellt sich die Frage, ob und inwieweit es bei derartigen Schädigungen Veränderungen zeigt, die die im ERG feststellbaren Befunde erweitern und untermauern können.



Geschichtliche Entwicklung

Durch DU BOIS-REYMOND ist seit 1849 bekannt, daß das Auge einen elektrischen Dipol darstellt : An einem Augenpräparat eines Schleies, also getrennt vom versorgenden Organismus, konnte er mit einem Galvanometer zeigen, daß " sich ein beliebiger Punkt der Außenfläche positiv verhielt gegen den Querschnitt des Sehnerven " . Diesen Spannungsunterschied bezeichnete er als Ruhe- oder Bestandpotential. Selbst bei Dunkelheit ist die Hornhaut in Bezug auf die Netzhaut elektropositiv.

Später (DEWAR und MC KENDRICK 1872/73) gelang es, Potentiale vom lebenden Tier zu erhalten. DEWAR und MC KENDRICK führten Versuche an betäubten Katzen und Tauben durch; dazu legten sie Elektroden an die Cornea und den Nervus opticus an, und ebenfalls mittels eines Galvanometers wiesen sie die Elektropositivität der Hornhaut nach. Außerdem erkannten sie, daß das Auftreffen von Licht (sie verwendeten einen " Strahl unkondensierten Mondlichtes ") auf die Retina den Galvanometerausschlag vergrößert. Weiterhin betonten sie die Bedeutung der Durchblutung des Auges : " ... that the sensibility of the nervous system in these animals disappears quickly after the withdrawal of healthy blood " . Schon kleinste Läsionen an den Ciliargefäßen

führten zu Schwierigkeiten, den Galvanometerausschlag überhaupt noch registrieren zu können. Dieses Ergebnis, d.h. Abnahme des Ausschlages bis zum völligen Verschwinden, steht in Einklang mit Untersuchungen von ARDEN, BARRADA und KELSEY (1962) : Vasculäre Läsionen schon geringster Größe führten zu pathologischen Werten.

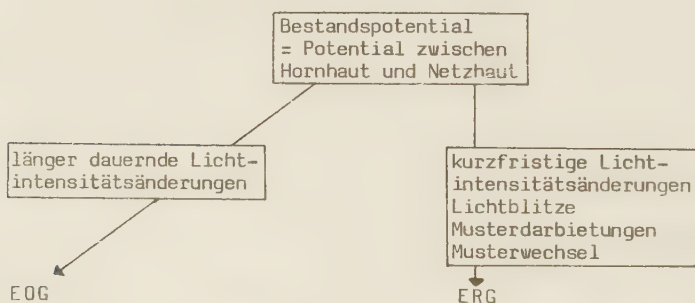
Das Bestandpotential ist aber, wie schon MÜLLER-LIMMROTH (1954) bemerkt hatte, nicht unveränderlich - auf unterschiedliche Beleuchtungsstärken reagiert das Ruhepotential mit einer Veränderung der Potentialhöhe; die Registrierung dieser Potentialschwankungen auf definierte längerdauernde Beleuchtungsveränderungen stellt das Elektrooculogramm (EOG) dar.

Während eine andere elektrophysiologische Untersuchungsmethode des Auges, das Elektroretinogramm (ERG), bereits seit den 40 er Jahren (KARPE 1946) in der Klinik größere Bedeutung erlangte, wird das EOG dagegen erst seit 1962 (ARDEN 1962) bei klinischen Untersuchungen herangezogen.

Beschreibung der zum EOG führenden
morphologischen und funktionellen
Gegebenheiten

Aus unterschiedlichen Ableitverfahren ergeben sich zwei elektrophysiologische Untersuchungsmethoden für das Auge, die beide auf der Registrierung von Potentialschwankungen beruhen.

Während bei der einen Methode, dem Elektroretinogramm (ERG), kurzfristige Lichtblitze als Reiz dienen, ist beim anderen Verfahren, dem Elektrooculogramm (EOG), das Verhalten des Potentials auf länger dauernde Änderungen der Lichtintensität von Interesse.



Über den Entstehungsort des Bestandspotentials des Auges herrscht ebensowenig völlige Klarheit wie über die genauen Vorgänge, die zur Modifizierung der Potentialhöhe bei Variationen der Beleuchtungsintensität

führen. Es existieren zwar mehrere Veröffentlichungen, die, wie so oft in der Medizin, aus Funktionsausfällen bzw. -veränderungen aufgrund von umschriebenen Defekten Rückschlüsse auf die Aufgabe des betroffenen Organabschnittes zulassen, es kristallisiert sich aber keine allgemeingültige Erklärung heraus. Die Prozesse um das Bestandspotential erscheinen zumindest sehr komplex. Zu unterscheiden wäre vielleicht ein Faktor, der den Dunkelanteil des Potentials, sozusagen einen Grundbetrag, liefert, und einen Hellanteil, der diesem Potential je nach Beleuchtungsverhältnissen aufgepfropft ist. Inwieweit diese beiden Anteile zu trennen und bestimmten Strukturen im Auge zuzuordnen sind, bedarf weiterer Klärung.

Zuallererst boten sich, wie oben umrissen, Erkrankungen des Auges an, von denen, vor allem durch histologische Untersuchungen, auch ihre definierten morphologischen Defekte bzw. Veränderungen bekannt sind.

Tapetoretinale Degenerationen untersuchten mittels EOG und ERG HENKES und VERDUIN (1963) sowie CARR und SIEGEL (1966). Waren Pigmentepithel und Rezeptorenaußenglieder unverändert (Dysgenesis neuroepithelialis), so war das EOG mehr oder weniger normal; Abiotrophie dagegen zeigte ein vermindertes EOG. Das ERG war in keinem Fall beeinflusst.

Bei vitelliformen Degenerationen der Fovea bzw. Retina zeigen sich Einlagerungen mit Defektbildung im Pigmentepithel : BRALEY (1968) bestimmte den Ort des Defektes an der inneren Seite des Pigmentepithels, an das Neuroepithel anschließend, CURRY und MOORMAN (1968) dagegen in den Zellen des Pigmentepithels. Das EOG erwies sich bei DEUTMANS Untersuchung (1969) als pathologisch, bei FRANÇOIS, DE ROUCK und FERNANDEZ-SASSO (1967) war das EOG in sechs von sieben Fällen pathologisch : Kein Hellgipfel, einmal sogar ein invers negativer Hellgipfel; als Erklärung vermuteten sie eine metabolische Störung im Pigmentepithel.

Das Pigmentepithel scheint also eine sehr wichtige Rolle bei der Entstehung des normalen Elektrooculogramms zu spielen. Nach ARDEN, BARRADA und KELSEY (1962) ist das Zustandekommen des EOG auf metabolische Aktivitäten im Pigmentepithel, nämlich der Regeneration des Sehpurpurs zurückzuführen.

Auch die Untersuchung von FARKAS, KRILL und SYLVESTER (1971) unterstreicht die Bedeutung des Pigmentepithels. Ein Patient mit familiären Drusen, bei dem das Pigmentepithel durch den Tumor, der die Bruch'sche Membran durchdringt und sich in das Pigmentepithel einlagert, ubiquitär pathologisch verändert ist, wies ein abnormales EOG auf.

Neben dem Pigmentepithel trägt auch das Neuroepithel zur Entstehung des EOG bei.

Das Spektrum des Hellgipfels zeigt, daß die Veränderung des Bestandpotentials durch die Aktivität der Stäbchen initiiert wird : Das Aktionsspektrum des Hellgipfels stimmt mit der Empfindlichkeitskurve des skotopischen Sehens überein (ARDEN, BARRADA und KELSEY 1962).

ELENIUS und LEHTONEN (1962) nahmen an, daß der Prozeß, der zur Erzeugung des Bestandpotentials führt, von der Absorption der Lichtquanten durch den Sehpurpur der Stäbchen ausgelöst wird, da sie eine Übereinstimmung der spektralen Empfindlichkeit des Auges mit der Absorptionskurve des Sehpurpurs fanden. Die Rolle der Zapfen wird durch Messung der spektralen Empfindlichkeit bei der lichtinduzierten Antwort des EOG an drei spektralen Orten (472, 572 und 618 μm) aufgehehlt. Die Ergebnisse, eine erhöhte Empfindlichkeit für längerwelliges Licht, deuten Zapfen-Aktivität bei der lichtinduzierten Antwort an (ELENIUS und LEHTONEN 1966).

Für den Aufbau des Sehpurpurs ist Vitamin A unentbehrlich. Bei einer Patientin mit einer Vitamin A - Malabsorption ist es bei dem bisher Erwähnten nicht verwunderlich, daß im EOG weder Dunkeltal noch Hellgipfel auslösbar sind (THALER, HEILIG und ZEHETBAUER 1976).

Auch schon ARDEN und KELSEY (1962) sahen das Lichtintensitäts-abhängige Verhalten als Ausdruck von Stoffwechselvorgängen, wie z.B. der Regeneration des Sehpurpurs, an. Sie erzielten bei einer Versuchsperson eine künstliche Ischämie (durch Erhöhung des intra-ocularen Druckes mittels Aufpressen eines Fingers) : Das Potential sank bis auf einen Minimalwert, ein Anstieg des Potentials war während der Ischämie durch Licht nicht auslösbar.

Es wurde auch der Versuch unternommen, das Verhalten des Elektrooculogramms allein durch Eigenschaften der lichtempfindlichen Zellen des Auges zu erklären. Die Arbeitshypothese von TEN DOESSCHATE und TEN DOESSCHATE (1956) postulierte für Zapfen und Stäbchen ein unterschiedliches Bestandpotential (Zapfen - , Stäbchen +), einen Anstieg dieses Potentials während der Dunkeladaptation, und eine für Zapfen und Stäbchen unterschiedliche Zeitcharakteristik, wodurch sich die Kurvenform des EOGs ergäbe. Diese Hypothese wurde kurz darauf durch dieselben Autoren (TEN DOESSCHATE und TEN DOESSCHATE 1957) aufgrund ihrer Schwachstellen (die auf bloßen Vermutungen beruhenden Voraussetzungen) überprüft und, da die Ergebnisse einiger Untersuchungen (bei einem Patienten mit congenitaler Hemeralopie zeigte sich kein Dunkel-
tal, obwohl dies nach der Hypothese, der photopische Apparat war als ungestört angenommen, ja hätte der Fall sein

müssen) nicht mit der Theorie in Einklang standen, zugunsten einer neuen Hypothese aufgegeben : Sie nahmen an, " daß das Verhalten des Ruhepotentials dem objektiven Korrelat der Phänomene der sogenannten nervous components der Adaptation entspricht " . TEN DOESSCHATE und TEN DOESSCHATE taten also einen Schritt quasi aus dem Auge heraus. Sie hielten für die Entstehung des Bestandspotentials auch nervale Impulse, die reflektorisch auf beide Augen wirken könnten, zumindest für nicht undenkbar.

ARDEN, BARRADA und KELSEY (1962) dagegen bezweifelten, daß der Potentialanstieg direkt mit der Adaptation zu tun hat : " Die lange Latenzzeit (ca. 90 sec.) und der anhaltende Anstieg bedeuten, daß die Veränderung im Potential nicht direkt mit der Größenveränderung der Pupille, oder dem Licht-Adaptation genannten Prozeß in Zusammenhang gebracht werden können, denn sowohl die photochemische Bleichung des Sehpurpurs, als auch die Veränderungen der neuralen Erregbarkeit und Organisation, die sie begleiten, beginnen unmittelbar nach Wiederbeleuchtung " .

An der Entstehung des Bestandspotentials sind also Pigmentepithel und Rezeptorenschicht beteiligt; ein Kontakt zwischen beiden scheint wichtig : ARDEN, BARRADA und KELSEY (1962) postulierten aufgrund ihrer Untersuchungen als Voraussetzungen für ein normales Potential

aktive Stäbchen, ebenso ein normales Pigmentepithel, einen Kontakt zwischen retinalen und Pigmentepithelschichten, sowie eine adäquate chorioideale Blutversorgung.

Nach Untersuchungen von ARDEN und BARRADA (1962) - Vergleich der Meßwerte beider Augen bei Patienten mit unilateraler Aphakie - könnte auch die Polarisierung der Linse mit beitragen, allerdings sind die Unterschiede nicht signifikant.

Arbeiten, die die Beeinflussung der Potentiale der beiden Augen aufeinander untersuchen, gibt es wenige : Lediglich PINCKERS und THIJSSSEN (1974) konnten sogar nach erfolgter unilateraler Enucleation noch ein Potential und damit ein EOG registrieren. Dieses Phänomen scheint aber letztlich auf rein physikalische Effekte gegründet zu sein : Ausbreitung des elektrischen Feldes bis zu den Elektroden um das Auge, dem der Generator für sein eigenes Potential fehlt.

Als Grundlage für die Beurteilung von pathologischen EOG-Kurven ist es zunächst einmal unumgänglich, das Verhalten eines normalen Elektrooculogramms zu kennen. Es existiert eine Reihe von Untersuchungen, die sich, seit Beginn der 50er Jahre, mit diesem Problem beschäftigen. Sie alle, die sie im folgenden genauer erwähnt werden, sagen etwa folgendes aus : Bei Dunkeladaptation, aus-

gehend von einem Zustand bei größerer Beleuchtungsstärke, erfolgte eine Potentialabnahme bis zum sogenannten Dunkeltal (im anglo-amerikanischen Schrifttum als dark trough oder kurz als Dt bezeichnet), manchmal eingeleitet von einer kurzen positiven Spitze (kurzzeitiges Abweichen des Bestandspotential zu höheren Werten), anschließend an das Dunkeltal sind gedämpfte Schwingungen des Potentials zu beobachten. Bei sich anschließender Helladaptation zeigt sich zuerst eine negative Spitze, und dann ein kontinuierlicher Anstieg des Potentials bis zum Hellgipfel (anglo-amerikanische Autoren sprechen vom light peak; kurz als Lp bezeichnet); auch jetzt erfolgt ein Oszillieren des Potentials.

1960 verfolgten DAVIS und SHACKEL das Verhalten des EOGs über längere Zeiträume. Sie stellten dabei fest, daß das Potential über Wochen stabil bleibt. Es ließen sich drei verschiedene Typen unterscheiden :

- a. Spitze um 11⁰⁰ Uhr, Tief um 14⁰⁰ Uhr und Anstieg bis 17⁰⁰ Uhr
- b. Anstieg bis 12⁰⁰ Uhr, steiler Abfall bis 13⁰⁰ Uhr und plötzlicher Anstieg gegen 14⁰⁰ Uhr
- c. stabiler Wert mit scharfem Abfall um 15⁰⁰ Uhr

Untersucht wurde jeweils das Bestandspotential unter möglichst identischen Bedingungen in allen Fällen.

Anders dagegen KOLDER (1974) : " Kontinuierliche Aufzeichnung über 24 Stunden zeigte weder ein einheit-

liches EOG-Schema noch eine Korrelation zwischen EOG und Körpertemperatur " .

Nach dieser kurzen Übersicht soll nun näher auf das Verhalten des EOG eingegangen werden :

Dunkeladaptation

Wird bei einer Versuchsperson, deren Ruhepotential fortlaufend registriert wird, von z.B. einer geringen Raumbeleuchtung ausgehend, plötzlich das Licht ausgeschaltet, so sinkt das Potential nach einem fakultativen positiven Gipfel innerhalb einer bestimmten Zeit :

TEN DOESSCHATE und TEN DOESSCHATE 1956	10 min.
ebenso KOLDER 1959	10 min.
ARDEN, BARRADA und KELSEY 1962	9,6 min.
REESER, WEINSTEIN, FEIOCK	
und OSER 1970	7-9 min.
MÜLLER und HAASE 1970	9 min.

bis zu einem Minimalwert (nach ARDEN, BARRADA und KELSEY 1962 ein fixer Wert) ab, der

- nach ARDEN, BARRADA und KELSEY (1962) unabhängig von den Beleuchtungsverhältnissen vorher, und zwar ein Alles-oder-Nichts-Prozeß ist, der bei einer genügend großen Beleuchtungsabnahme in genügend kleiner Zeit zu immer denselben Minimalwerten führt ;

- nach TEN DOESSCHATE und TEN DOESSCHATE 1957 , sowie MÜLLER und KÖRBER 1970 abhängig von der Intensität der Voradaptation ist. Dabei gilt :

Je größer die Intensität, desto eher wird dieser Wert erreicht, gleichzeitig wird derselbige kleiner.

(MÜLLER : " Damit steht unser Ergebnis in Widerspruch zu den Angaben in der Literatur, daß das Dunkeltief nach dem Alles-oder-Nichts-Gesetz abläuft " .)

Nach Erreichen des D_t oszilliert das Potential und schwingt gedämpft aus, wobei es den Ausgangswert fast wieder erreicht (TEN DOESSCHATE und TEN DOESSCHATE 1956).

Vor allem beim Zeitverlauf dieser Dunkelreaktion treten größere interindividuelle Unterschiede auf. Ohne Einfluß ist die Wellenlänge des Lichtes während der Voradaptation (TEN DOESSCHATE und TEN DOESSCHATE 1956).

Helladaptation

Bei einem andauernden Lichtreiz erfolgt zunächst ein kurzer Potentialabfall nach 90 sec. (ARDEN, BARRADA und KELSEY 1962; KOLDER 1959). Auf diesen negativen Gipfel folgt ein kontinuierlicher Potentialanstieg bis zu einem Maximalwert, der abhängig ist von :

- a. der Dauer der vorhergehenden Dunkeladaptation und
- b. der log. Intensität der Beleuchtung des Reizlichtes (in Grenzen - ARDEN, BARRADA und KELSEY 1962 ; bis zu 10.000 td - ARDEN und KELSEY 1962 ; gleichfalls MÜLLER und HAASE 1971).

Erreicht wird das Maximum nach

- 8,5 min. (KOLDER 1959)
- 10 min. (TEN DOESSCHATE und TEN DOESSCHATE 1956)
- 6-8 min. (REESER et al. 1970)
- 8-9 min. (ARDEN et al. 1962)

Danach beobachtet man gedämpfte Oszillationen bis zum Wert des Dunkeltals (KRIS 1958 ; ARDEN 1962), während des Abfalls ist das Bestandspotential nicht empfindlich für Beleuchtungsveränderungen ; eine Erhöhung oder Erniedrigung der Beleuchtungsintensität hat also keinen Einfluß auf den Zeitverlauf des Potentials, wenn einmal der Lichtgipfel aufgetreten war (ARDEN 1962).

Augrund dieser Ergebnisse wurde von ARDEN ein Versuch zur Standardisierung der Untersuchung des Bestandspotentials gemacht : Der Patient ist zunächst leicht helladaptiert. Durch Dunkeladaptation werden die Oszillationen der Hellphase gestoppt und neu synchronisiert. Das Potential läßt man nun bis zum Dunkeltal abfallen,

was nach 12 min. Dunkeladaptation sicher erreicht ist. Die Wiederbeleuchtung initiiert den Anstieg des Potentials und ergibt somit den Wert des Hellgipfels (ein Maximalwert, der abhängig ist von der Lichtintensität und der Dauer der vorhergehenden Dunkeladaptation). Mit dem Abbruch der Oszillationen durch die Dunkelphase kann also eine Stabilisierung der Ableitverhältnisse erreicht werden, d.h. die Bedingungen der Registrierung werden normiert.

$$\text{Der Verhältnisswert } \frac{\text{Hellgipfel}}{\text{Dunkeltal}} \times 100 \% \text{ (ratio)}$$

erleichtert den Vergleich der Potentialverläufe verschiedener Patienten bzw. bei Patienten, die mehrmals untersucht wurden, den Vergleich der Potentialverläufe zu verschiedenen Zeitpunkten.

Auch über diesen Verhältnisswert liegen Untersuchungen vor :

REESER (1970) untersuchte 50 Patienten. Er errechnete einen durchschnittlichen Wert von 248 % (ratio), im Bereich von 175 % bis 362 % . Außerdem stellte er fest, daß bei Patienten über 35 Lebensjahre dieser Wert bei ca. 240 % liegt, bei Personen unter 35 Jahren dagegen bei 251 %.

ARDEN (1962) stellte neben einem Durchschnittswert von 252,4 % (im Bereich von 191 % bis 382 %) eine

direkte Korrelation zwischen Dunkeltal und Hellgipfel, aber keine zwischen ratio und Potential fest :
Ein Beweis für die Berechtigung, mit dem Verhältniswert zu arbeiten, da das Potential keinen Einfluß auf die ratio hat.

Auch KOLDER (1959) bevorzugt die Zuhilfenahme der ratio : " Der absolute Wert des Potentials variiert abhängig von der Dicke und Leitfähigkeit der Gewebe zwischen Generator (Retina, Pigmentepithel ?) und Elektroden. Diese Faktoren können nicht kontrolliert werden ; das absolute Potential ist deswegen weniger nützlich als das Verhältnis Lichtgipfel zu Dunkeltal " .

ADAMS (1973) hat mit 120 Patienten wohl das zahlenmäßig interessanteste Patientengut. Er fand einen signifikanten Geschlechtsunterschied bei der ratio : Weibliche Versuchspersonen zeigten einen höheren Wert als männliche - 233,84 % bei ♀ bzw. 212,65 % bei ♂ . Außerdem wies er eine negative lineare Korrelation zwischen ratio und Alter bei Frauen, keine dagegen bei Männern nach. Diese Unterschiede führte er auf einen hypothetischen hormonellen Faktor bei weiblichen Patienten, der die metabolische Aktivität des Pigmentepithels stimuliert, zurück.

KELSEY (1967) untersuchte acht Patienten über längere Zeit und stellte ebenso wie MÜLLER und HAASE

(1970) bei einer ähnlichen Versuchsreihe große inter-
wie auch intraindividuelle Variationen fest :

Im einzelnen KELSEY - Der durchschnittliche ratio-
Wert liegt zwischen 196 % und 304 % .

MÜLLER und HAASE - Von drei Versuchspersonen wurden
insgesamt 140 EOGs aufgezeichnet (innerhalb von 14, 22
und 42 Wochen)

Vp 1	244_{-32}^{+32} % (ratio)	
Vp 2	202_{-32}^{+32} %	"
Vp 3	194_{-28}^{+28} %	"

Methodik

Bei der Registrierung des EOG steht man vor der Aufgabe, das Bestandspotential des Auges zu messen, das zwischen Cornea und Retina besteht und von verschiedenen Faktoren, wie Beleuchtungsstärke, Voradaptation und Tageszeit abhängig ist. Da direkte Ableitungen nicht möglich sind, macht man sich die Dipolnatur des Auges zunutze, in einer Form, wie sie auch in der Elektronystagmographie angewandt wird.

Während man beim Elektronystagmogramm das Potential zur Registrierung der Augenbewegungen nutzt, will man beim Elektrooculogramm die Potentiale selbst erfassen. Beim Auge entspricht die optische Achse der Dipolachse; horizontale Augenbewegungen können so je eine nasal und temporal vom Auge angelegte Elektrode gegensinnig polarisieren. Das elektrische Feld des Dipols beeinflußt die Elektroden bei wiederholten Horizontalbewegungen des Auges im Sinne einer abwechselnden Positivierung und Negativierung. Mittels geeigneter Verstärkung kann die so entstandene Spannung zwischen nasaler und temporaler Elektrode durch einen Schreiber oder einen Oszillographen aufgezeichnet und gemessen werden.

Dies so gemessene Potential ist von vielen Parametern abhängig : Zum einen von der jeweiligen Position der Elektroden, denn durch die anatomischen Gegebenheiten

zwischen Generator und Elektrode (Dicke und Leitfähigkeit von Haut, Knochen- und Muskelgewebe) kann die Ausbreitung des Dipolfeldes beeinflußt sein; deshalb muß Sorge getragen werden, daß die Lage der Elektroden während der Untersuchung nicht verändert wird, um von Beginn bis Ende dieselben Ableitbedingungen zu haben. Dazu werden die Elektroden durch Pflasterstreifen unverrückbar an der Haut befestigt.

Weiterhin muß der Winkel der Augenbewegungen, d.h. der Umfang der Blickbewegung, während der Untersuchung konstant gehalten werden, da nach Erkenntnissen von MILES (1939) das Potential mit dem Sinus des Winkels variiert. Erreicht wird diese Konstanthaltung durch kleine Lämpchen, die der Versuchsperson bzw. dem Patienten als Fixierhilfe dienen.

Schließlich ist das Potential von der Beleuchtungsstärke, der das Auge ausgesetzt wird, abhängig. Dies ist bei der Registrierung eines EOG von Interesse und stellt mehr oder weniger den Gegenstand der Untersuchung dar : Das Verhalten des Potentials in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke unter jeweils gleichen äußeren Bedingungen für verschiedene Patienten und für denselben Patienten zu verschiedenen Zeitpunkten.

Zur Registrierung werden dem Patienten pro Auge zwei Silberelektroden angelegt, und zwar jeweils gegenüber dem medialen und temporalen Canthus am Orbitarand.

Diese Placierung hat den Vorteil, daß der Patient bei den Blickbewegungen und beim Lidschlag nicht behindert wird. Zur Verminderung des Übergangswiderstandes Haut/Elektrode wird die Haut mit Alkohol entfettet und Elektrodengel auf die Elektroden aufgebracht. Die Elektroden werden mit Pflasterstreifen an der Haut fixiert. In gleicher Weise wird auch eine indifferente Elektrode an der Stirn befestigt.

Während der Registrierung sitzt der Patient vor einem modifizierten Kugelperimeter, in dem äquatorial zwei Fixierlampen konstante Augenbewegungen gewährleisten. Die Lämpchen sind so angeordnet, daß die Blickbewegungen jeweils 45° nach rechts oder links, bezogen auf die Medianlinie des Patienten, führen. Durch eine Kinnstütze ist dafür gesorgt, daß der Patient seinen Kopf ruhig hält und lediglich Augenbewegungen ausführt. Zwei Lampen ermöglichen einen Sprung in der Lichtstärke um 100 cd/m^2 .

Durch diese aufwendige Methodik gelingt es, die beschriebenen Störfaktoren auf ein Minimum einzudämmen.

Die Verstärkung der Signale übernimmt ein Differenzverstärker, die Aufzeichnung der Potentiale ein Schreiber.

Bei unserer Untersuchung befand sich der Patient in einem Faraday'schen Käfig, um Störungen, wie z.B. den sog. " Netzbrumm " unterdrücken zu können.

Der Testablauf selber lehnt sich an die von ARDEN, BARRADA und KELSEY 1962 beschriebene Technik an : Der Patient wird angewiesen, auf Kommando des Untersuchers abwechselnd eine der beiden Fixierlampen zu fixieren, die dazu jeweils aufleuchten. Die Frequenz liegt bei ca. 1 sec.^{-1} , pro Minute werden ca. 10 Blickbewegungen ausgeführt.

Das Anlegen der Elektroden, sowie die Information des Patienten über den Test erfolgt bei geringer Raumbeleuchtung. Diese geringe Raumbeleuchtung vermindert den Einfluß der Vor-Adaptation, d.h. dem Potential wird die Möglichkeit gegeben, gedämpft bis zu einem relativ konstanten Wert auszuspringen. Dieser wird zu Beginn der Untersuchung mittels zwei Minuten Registrierung als Ausgangswert ermittelt. Anschließend wird 12 min. bei vollständiger Dunkelheit registriert (Dunkeladaptation), worauf 12 min. bei definierter Beleuchtungsstärke folgen (Helladaptation; Sprung um 100 cd/m^2).

Die Auswertung folgt ebenfalls der Technik wie von ARDEN, BARRADA und KELSEY beschrieben : Für beide Augen werden die gemessenen Potentiale gegen die Zeit aufgetragen; die so erhaltene Kurve dient ebenso zur Beurteilung wie auch der Verhältniswert :

$$\frac{\text{höchster Wert bei Helladaptation}}{\text{niedrigster Wert bei Dunkeladaptation}} \times 100 \%$$

Bei der Ermittlung des Verhältniswertes (ratio oder ARDEN-ratio) ist es gleichgültig, ob

- die Schreiberausschläge,
- die gemessenen Potentiale, oder
- die prozentual auf den Ausgangswert bezogenen Potentialwerte

herangezogen werden.

Über die Normal- bzw. Grenzwerte zum Pathologischen existieren mehrere Untersuchungen. Sie bauen auf Reihen-Registrierungen mit augengesunden Versuchspersonen auf; es bieten sich hierbei Untersuchungen mit einer möglichst großen Zahl von Patienten an : ARDEN und BARRADA (1962) standen 26 Patienten, d.h. also 52 Augen zur Verfügung. Ausgehend von einem ratio-Mittelwert von 252,3 % fanden sie eine angenäherte Normalverteilung der ratio-Werte, die einen Normbereich der ratios von 185 % bis 322 % lieferte.

ADAMS (1973) registrierte ein EOG bei 120 Versuchspersonen zwischen 10 und 69 Jahren ; sie alle waren augengesund. Auch er fand eine Gauß-Kurve, aus der er den Bereich der normalen ratio-Werte ermittelte : Durch andere Meßwerte ergab sich auch ein anderer Normalbereich, so daß ADAMS neue Normgrenzen vorschlug :

150 % - 290 % bei männlichen Patienten und
weiblichen Patienten älter als
50 Jahre, sowie
170 % - 342 % bei weiblichen Patienten bis zu
50 Jahren.

Im folgenden wird als pathologisch angesehen :

- eine ratio unter 185 %,
- Potentialumkehr oder
- kein Potential ableitbar.

Untersuchungsergebnisse

1. Normwerte

In der langjährigen klinischen Routine haben sich folgende Labor-typischen Werte herauskristallisiert :

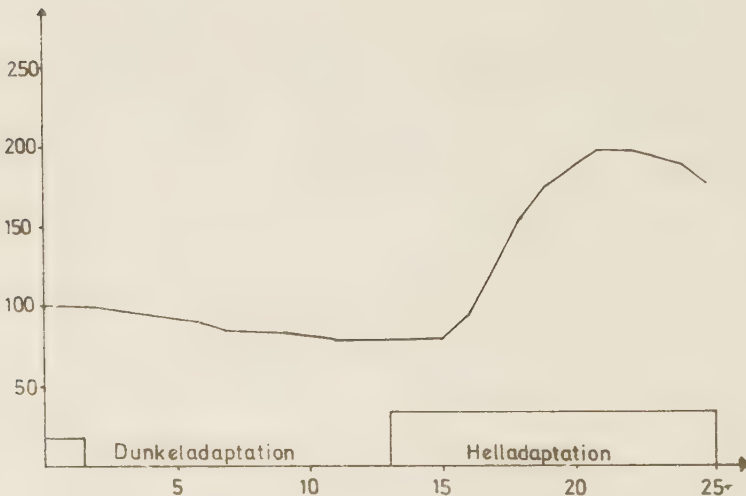


Abb. 1 Normales Elektrooculogramm

Abszisse Zeit in Minuten
Ordinate % des Basiswertes

Das Erreichen des Dunkeltales (Dt) liegt im Durchschnitt in der 6. Minute, das des Hellgipfels (Lp) folgt in der 7. Minute nach Wiederbeleuchtung. Die ratio hat einen Durchschnittswert von 258,9 % (im

Bereich von 202 % bis 319 %). Diese Werte wurden zu Beginn der Untersuchung nochmals verifiziert.

Es ergibt sich somit eine gute Übereinstimmung zu den Werten in der Literatur.

Ein typisches Elektrooculogramm eines augengesunden Patienten zeigt Abb. 1 (siehe Seite 24)

2. Patientenuntersuchung

Untersucht wurden 30 Patienten im Alter von 15 bis 69 Jahren, davon 20 (66 %) im Alter bis zu 40 Jahren.

Betroffen waren 18mal rechte und 12mal linke Augen. Alle Patienten waren wegen einer unilateralen, perforierenden Hornhautverletzung mit intraocularem Fremdkörper stationär oder zur Nachbehandlung ambulant in der Klinik.

Bei den Verletzungsursachen überwiegen die sogenannten " Hammer-und-Meißel-Unfälle " .

Hammer-und-Meißel-Unfall

Fremdkörper metallisch	18
" Beton	1
" Lack	1
Schußunfall	1
Gewindebohrer eingestoßen	1
Metallspan beim Drehen weggeschleudert	1
" vom Zahnrad weggeschleudert	1
Autounfall, Fremdkörper metallisch	1
" " Glas	1
zerplatzte Bierflasche	1
Holzsplitter eingestoßen	1

Es hatten also 24 Patienten eindeutig metallische Fremdkörper; zu diesen kommen noch drei Patienten mit Glassplittern, je einer mit Holz-, Beton- und Lack-splitter. Zum Zeitpunkt der Untersuchung waren die Fremdkörper in 28 Fällen entfernt, sonst eingekapselt.

Die EOG-Aufzeichnung konnte zwischen einem Tag und ca. 39 Jahren nach der Verletzung durchgeführt werden, in der Mehrzahl der Fälle (63 %) innerhalb eines kurzen Zeitraums von 30 Tagen danach.

Bei einem Patienten konnten vier Untersuchungen im Abstand von 13 Tagen, 17 Tagen, 24 Tagen und 69 Tagen nach Verletzung durchgeführt werden, bei zwei weiteren wurde ein EOG vor und nach notwendig gewordener Enucle-

ation des geschädigten Auges aufgezeichnet. Es stehen also insgesamt 36 Untersuchungen zum Vergleich an. Bei 17 Patienten lag zusätzlich ein ERG vor.

Bei der Potentialregistrierung am verletzten Auge fällt der erniedrigte Wert (siehe Summenkurven) auf : Basiswert 271,9 μ V im Durchschnitt gegenüber 460,6 μ V am unverletzten Auge.

Bei den 30 Patienten waren im EOG pathologisch :
am verletzten Auge 20 Patienten
am gesunden Auge 1 Patient (fraglich)
Pathologisch heißt : ratio unter 185 % , Potentialumkehr oder kein Potential ableitbar.

Der Vergleich der Normalkurve (Summenkurve aus den %-Basis-Werten der Einzelkurven) mit der Summenkurve der 20 pathologischen EOG-Registrierungen zeigt keine signifikanten Unterschiede zwischen Norm, verletztem und unverletztem Auge. Bei der Helladaptation stimmt die Kurve des gesunden Auges gut mit der Normalkurve überein, während die Kurve des verletzten Auges mehr oder weniger auf demselben niedrigen Wert der Dunkeladaptation bleibt und somit einem " flat EOG type " entspricht, und zwar ähnlich der von THIJSSSEN und PINCKERS (1974) type I genannten Kurvenform (Abb. 2).

Bei den Einzelkurven waren vier Patienten (17,4 %) ohne Befund am verletzten Auge, ebenfalls vier Patienten zeigten Potentialumkehr. Die Kurvenform entsprach bei zehn Patienten (43,5 %) der einer normalen mit Dt und Lp; der durchschnittliche Lp / Dt - Wert liegt bei 150,3 % (ratio; bei einem Basiswert von 231,1 μV) am verletzten Auge und 283 % (bei einem Basiswert von 356,7 μV) am gesunden Auge. Die sechs restlichen Patienten zeigen kein Ansprechen bzw. nur ein geringes auf Dunkelheit oder Licht; hier liegt der durchschnittliche ratio-Wert bei 95,5 % am verletzten Auge und 249 % am gesunden Auge.

Bei einem Patienten wurde viermal ein EOG aufgezeichnet. Die erste Kurve 13 Tage nach der Verletzung läßt bei beiden Augen das Dunkeltal vermissen, die ratio beträgt 246 % für das verletzte und 183 % für das unverletzte Auge. Dieser pathologische Wert wird allerdings durch eine gewisse Unruhe des Patienten während der Untersuchung und damit möglichen Verfälschungen etwas in Frage gestellt. Vier Tage später (also insgesamt 17 Tage nach Verletzung) ist das Dunkeltal wieder deutlich ausgeprägt, mit ratio-Werten von 276 % am verletzten und 222 % am gesunden Auge. Weitere sieben Tage danach (am 24. Tag nach der Verletzung) sind die Kurven beider Augen fast identisch mit deutlichem Dunkeltal und Lichtgipfel; 287 % am verletzten Auge und 243 % am gesunden. Erst am 69. Tag nach Verletzung übersteigt die ratio des unver-

letzten Auges mit 233 % die des verletzten Auges mit 225 % , beide sind also mehr oder weniger gleich. Das Dunkeltal ist hier wieder etwas abgeflacht (Abb. 3-6).

Zwei Patienten wurden jeweils vor und nach notwendig gewordener Enucleation des verletzten Auges untersucht. Der erste einmal vorher (ca. 90 Tage nach Verletzung) und zweimal danach (125 und 129 Tage nach Verletzung), der zweite einmal vorher und einmal danach. Vor der Operation war am verletzten Auge jedesmal kein Potential ableitbar, nach erfolgter Enucleation ebenfalls. Das EOG des Partnerauges : Beim ersten Patienten zuerst kein Dunkeltal, deutlicher Lichtgipfel mit 216 % bei stark erhöhtem Potential, nach Enucleation zuerst atypischer Potentialanstieg bei Dunkelheit, gefolgt von normgerechten Lp (244 %). Drei weitere Tage danach deutliches Dt, ebenso Lp (266 %). Beim zweiten Patienten verwischtes Dt und deutlicher Lp (193 %) vor, und genauso undeutliches Dt mit nachfolgendem LP (185 %) nach Enucleation.

Die Korrelation der ratio-Werte beider Augen mit dem Zeitpunkt nach der Verletzung (also dem Untersuchungstag) ergab keine deutliche Aussage.

Für die verletzten Augen liegen die Werte unregelmäßig verteilt überwiegend im pathologischen Bereich, teils im Normbereich (siehe Abb. 7); dabei ist mit zunehmender Zeitdauer nach Verletzung keine Tendenz zur

Abnahme der ratio zu erkennen.

Die Werte der Partneraugen liegen alle im Normbereich, wenn auch unregelmäßig gestreut.

Ähnlich die Gegenüberstellung von ratio-Werten und Lebensalter.

Im Vergleich der 17 Patienten, bei denen auch ein ERG vorliegt, ergibt sich, daß dieses in mehr Fällen Veränderungen anzeigt als dies das EOG tut : Bei neun Patienten mit pathologischen EOG am verletzten und normalen EOG am unverletzten Auge ist das ERG des gesunden Auges als pathologisch anzusehen. In sechs Fällen zeigt das ERG pathologische Veränderungen auf, während das EOG beider Augen - des verletzten wie des ungeschädigten - normal ist.

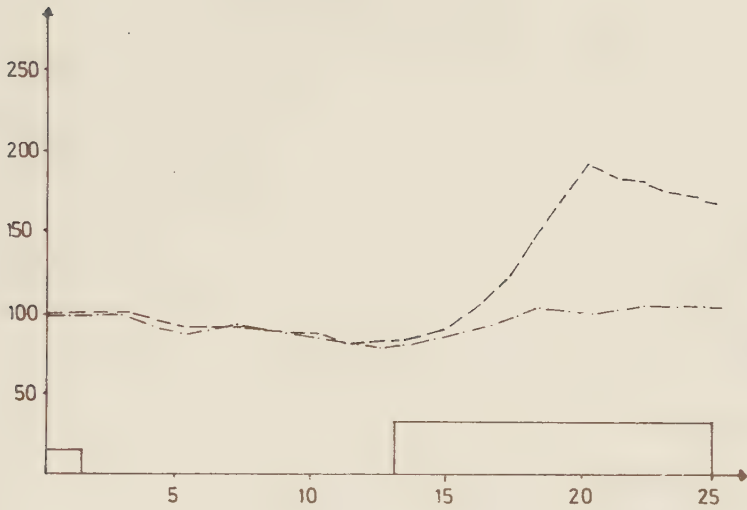


Abb. 2 Summenkurve der 20 Patienten mit pathologischem EOG am verletzten Auge

Abszisse Zeit in min.

Ordinate % des Basiswertes

verletztes Auge - - - - -

unverl. Auge — — — — —

Abb. 3-6 EOG eines Patienten zu verschiedenen Zeitpunkten

Abszisse Zeit in min.

Ordinate % des Basiswertes

verletztes Auge - - - - -
unverl. Auge — — — — —

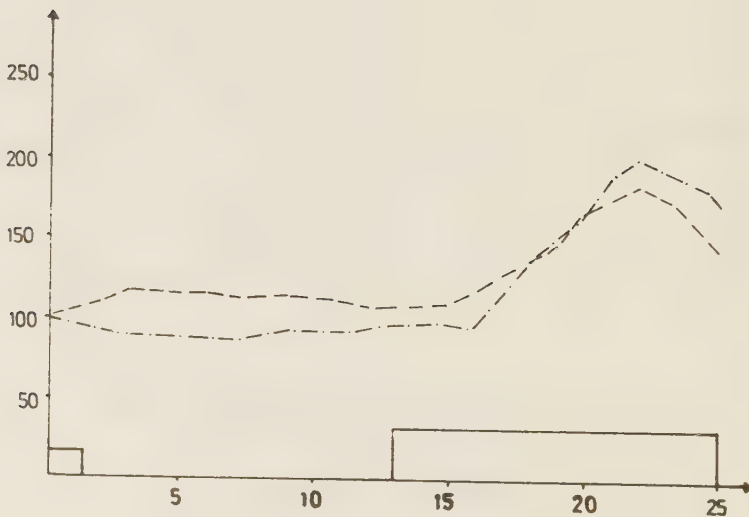


Abb. 3 13 Tage nach Verletzung

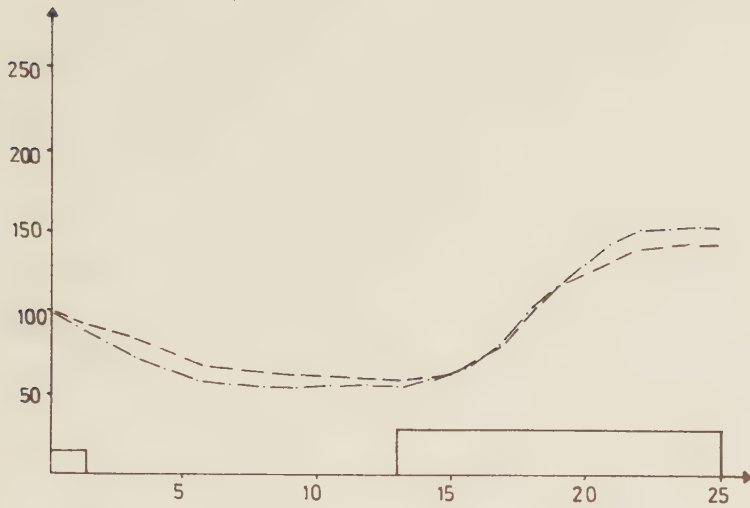


Abb. 4 17 Tage nach Verletzung

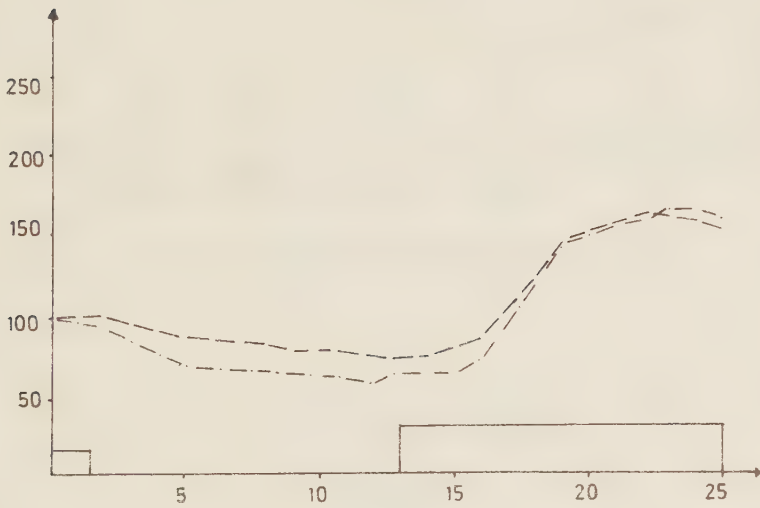


Abb. 5 24 Tage nach Verletzung

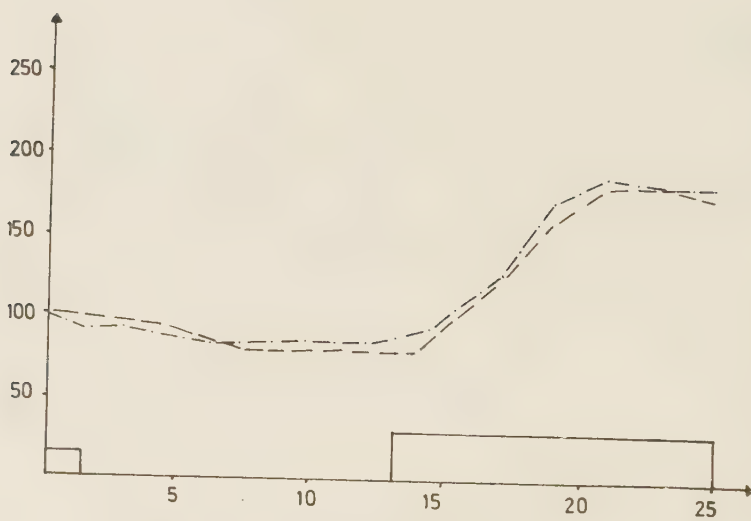
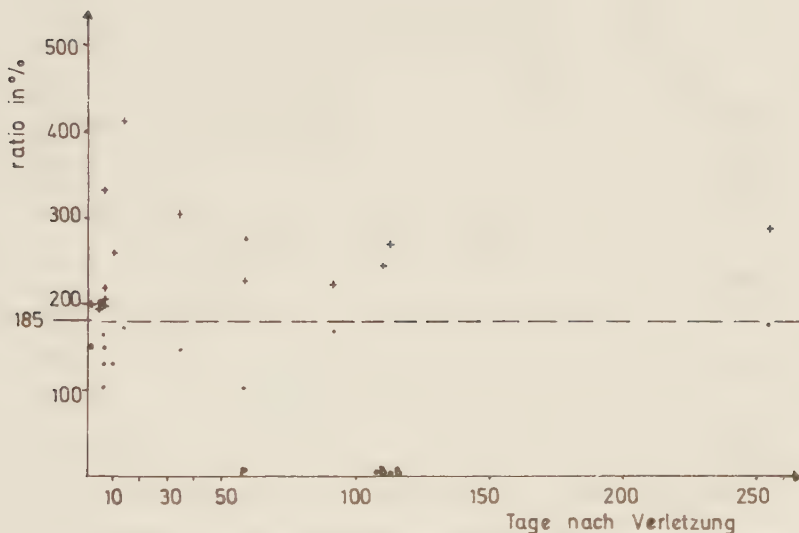


Abb. 6 69 Tage nach Verletzung



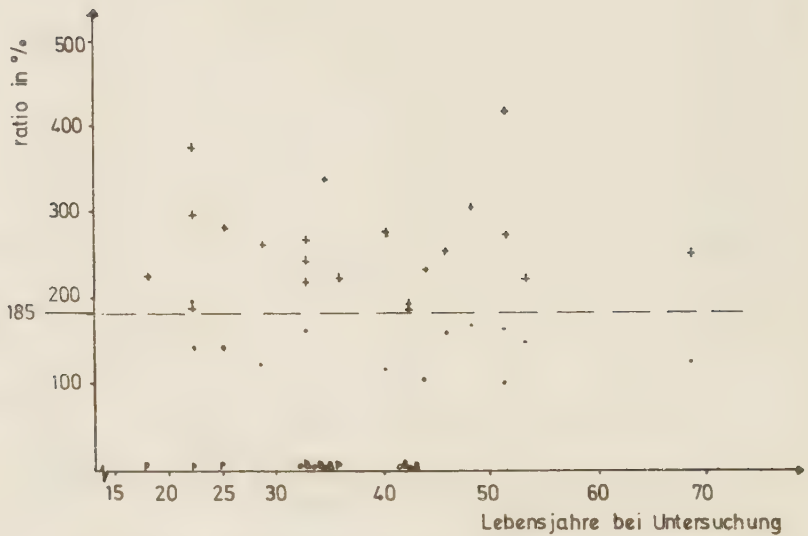
Berücksichtigt sind 15 Untersuchungen an 13 Patienten in einer Zeit bis zu 250 Tage nach Verletzung

P = Potentialumkehr

oB = ohne Befund

Abb. 7 Verteilung der ratio-Werte in Bezug zum Zeitpunkt nach Verletzung

verletzte Augen .
unverl. Augen +



Berücksichtigt sind 21 Untersuchungen an 18 Patienten mit pathologischen Veränderungen im EOG des verletzten Auges

Abb. 8 Korrelation von ratio-Werten und Lebensalter

verletzte Augen ·
unverl. Augen +

Diskussion

Der Gesichtssinn spielt beim Menschen eine weit größere Rolle als bei anderen Lebewesen, die sich vielfach mittels anderer Sinne (Geruch, Gehör) in ihrer Umwelt orientieren können. Schon bei Verlust der Funktionsfähigkeit nur eines Auges resultiert daraus eine Einschränkung dieses so wichtigen Sinnes : Stereoskopisches Sehen wird unmöglich.

Eine große Gefahr für die Integrität und Funktionstüchtigkeit des Auges stellen doppelt perforierende Hornhautverletzungen (Augapfel-Verletzungen) dar. Nach MÜLLER, HAGER, GEES, DODEN, HARMS, JÄGER und WEIGELIN (1962) sind ca. 20 % aller Augenerkrankungen auf Verletzungen beruhend. Dabei sind vor allem perforierende Hornhautverletzungen mit intraocularem Fremdkörper vorherrschend; die Kasuistik dieser Verletzungen ist zum größten Teil auf Verkehrsunfälle, sowie auf Hammer- und Meißel-Unfälle und umherfliegende Metallsplitter zurückzuführen (NIIRANEN 1979 : über 60 % derartige Ursachen bei 192 Arbeitsunfällen).

Perforationen durch metallische Fremdkörper sind von besonderer Bedeutung, da sie nicht nur durch traumatische Schädigung des Gewebes, sondern auch durch Korrosion das Auge resp. die Netzhaut schädigen können. Durch die Perforation entsteht eine Wunde, die um so

folgenreicher ist, je größer und scharfkantiger das perforierende Objekt war. Hornhautverletzungen hinterlassen nach einer längeren Abheilungsphase eine Narbe, die zu Sehstörungen führen kann. Weiterhin können Linsentrübungen, Irisprolaps, Glaskörperprolaps und als Spätfolge Netzhautablösungen auftreten. Metallische Fremdkörper bedingen zudem das Krankheitsbild der Siderose bzw. Metallose mit Linsentrübungen, Irisverfärbungen und Netzhautschäden.

In den Fällen, in denen ein Auge derart in Mitleidenschaft gezogen wurde, erweist sich ein zweites, ungeschädigtes Auge als von großer Notwendigkeit. Die Funktionsfähigkeit dieses Auges ist für die Erhaltung des Gesichtssinnes unabdingbar. Von Interesse sind daher schon kleinste Veränderungen, die auf eine Schädigung hinweisen können.

Besonders wichtig erscheinen hier Hinweise, die im ERG auf eine Schädigung bzw. auf einen Funktionsausfall von Strukturen im Auge hindeuten, auch wenn dieses Auge von der Verletzung gar nicht betroffen war.

Überprüft man Patienten mit entsprechenden Verletzungen mittels des EOG, so findet man keinen derartigen Befund : Das Partnerauge zeigt lediglich in einem Falle unserer Untersuchung Veränderungen im EOG mit pathologischem Charakter. Nur bei einem Patienten ergab die Registrierung eine ratio von 183 % (zum Vergleich : schon

oberhalb von 185 % kann man nicht mehr von pathologischen Werten sprechen), die zumindest fraglich erscheint. Spätere Aufzeichnungen bei demselben Patienten zeigen keine derartigen Veränderungen mehr. Ansonsten war das EOG in Zeitverlauf und Größe der Potentialschwankung völlig normal, sowohl unmittelbar nach Verletzung als auch in der Zeit danach.

Das verletzte Auge zeigte schon sofort nach der Verletzung, d.h. sobald nach notwendigen therapeutischen Maßnahmen eine EOG-Aufzeichnung möglich war, pathologische Werte. Die ratio sinkt im weiteren Verlauf aber nicht mehr ab.

Eine prognostische Aussage als auch eine diagnostische Hilfe ist also in diesem Fall mit dem EOG nicht möglich. Das unterschiedliche Verhalten von ERG und EOG läßt den Schluß zu, daß die im ERG nachweisbare Mitbeteiligung des Partnerauges auf die Zone der Rezeptoren und Bipolaren beschränkt ist.

Zusammenfassung

Nach der Aufgabenstellung wurde auf die geschichtliche Entwicklung des Elektrooculogramms hingewiesen, die bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts zurückreicht. Es wurde die Bedeutung des Pigmentepithels, der Rezeptorenschicht und einer ausreichenden Blutversorgung für die Entstehung des Bestandspotentials des Auges dargestellt. Veränderungen des Potentials in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern, insbesondere das Verhalten des Potentials bei unterschiedlichen Beleuchtungsverhältnissen, wurden beschrieben. Die Methodik zur Aufzeichnung eines Elektrooculogramms wurde vorgestellt. Die Ergebnisse der Untersuchung an 30 Patienten mit doppelt perforierenden Hornhautverletzungen (Augapfel-Verletzungen) mit intraocularem Fremdkörper wurden beschrieben und diskutiert : Anders als beim ERG sind beim EOG Mitbeteiligungen des Partnerauges nicht überzeugend nachweisbar. Dies weist auf eine Lokalisation der hierzu führenden Vorgänge in die Schicht der Bipolaren und Rezeptoren.

1. A. ADAMS :

The Normal EOG

Acta Ophthal. 51, 551-561 (1973)

2. E. ALEXANDRIDIS und V. DÜRHOLT :

Das Verhalten des Bestandspotentials des Auges (EOG)
bei der tapetoretinalen Degeneration

Ber. dt. ophthal. Ges. 71, 481-486 (1971)

3. G.B. ARDEN und J.H. KELSEY :

Changes produced by Light in the Standing Potential
of the Human Eye

J. Physiol. 161, 189-204 (1962)

4. G.B. ARDEN und J.H. KELSEY :

Some Observations on the Relationship between the
Standing Potential of the Human Eye and the Bleaching
and Regeneration of Visual Purple

J. Physiol. 161, 205-226 (1962)

5. G.B. ARDEN, A. BARRADA und J.H. KELSEY :

New Clinical Test of Retinal Function based upon
the Standing Potential of the Eye

Brit. J. Ophthal. 46, 449-467 (1962)

6. G.B. ARDEN und A. BARRADA :

Analysis of the Electro-Oculogramm of a series of
Normal Subjects (Role of the Lens in the Develop-
ment of the Standing Potential)

Brit. J. Ophthal. 46, 468-482 (1962)

7. G.B. ARDEN und M.R. FOJAS :
Electrophysiological Abnormalities in Pigmentary
Degeneration of the Retina
Archs. Ophthal. N.Y. 68, 369-389 (1962)
8. D.W. BENSON Jr. und H.J. KOLDER :
Non-Linear Response of the Human Cornoretinal
Potential to Sinusoidal Changes in Light Intensity
Pflügers Archiv 295, 361-368 (1967)
9. A.L. BIRNDORF und W.W. DAWSON :
A Normal EOG in a Patient with a Vitelliform Macular
Lesion
Invest. Ophthal. 12, 830-833 (1973)
10. E. DU BOIS-REYMOND :
Untersuchungen über thierische Electricität
2ten Bandes 1te Abt. 256-257
Verlag von G. Reimer Berlin (1849)
11. K.T. BROWN und T.N. WIESEL :
Intraretinal Recording in the Unopened Cat Eye
Amer. J. Ophthal. 46, 91-98 (1958) No. 3 pt. 2
12. R.E. CARR und I.M. SIEGEL :
Electrophysiologic Aspects of several Retinal
Diseases
Amer. J. Ophthal. 58, 95-107 (1966)
13. J.R. DAVIS und B. SHACKEL :
Changes in the Electro-Oculogramm Potential Level
Brit. J. Ophthal. 44, 606-618 (1969)

14. A.F. DEUTMAN :

Electro-Oculography in Families with Vitelliiform
Dystrophy of the Fovea

Arch. Ophthal. 81, 305-316 (1969)

15. J.DEWAR und J.G. MC'KENDRICK :

On the Electrophysiological Action of Light

Nature Lond. 15, 433-435 (1877)

Proc. Roy. Soc. Ednbg.

16. E.M. EAGLING :

Perforating Injuries of the Eye

Brit. J. Ophthal. 60, 732-736 (1976)

17. V. ELENIOUS und J. LEHTONEN :

Spectral Sensitivity of the Standing Potential of
the Human Eye

Acta Ophthalm. 40, 559-566 (1962)

18. V. ELENIOUS und T. KARO :

Cone Activity in the Light-induced Response of the
Human Electro-Oculogramm

Pflügers Archiv 291, 241-248 (1966)

19. T.G. FARKAS, A.E. KRILL, V.M. SYLVESTER und D.ARCHER :

Familial and Secondary Drusen : Histologic and
Functional Correlations

Trans. Amer. Accad. Ophthal. Otolaryng. 75, 333-34
(1971)

20. J. FRANÇOIS, M. SZMILGIELSKI, G. VERRIEST und A. DE ROUCK :
The Influence of Changes in Illumination on the
Standing Potential of the Human Eye
Ophthalmologica 150, 83-91 (1965)
21. J. FRANÇOIS, A. DE ROUCK und D. FERNANDEZ-SASSO :
Electro'oculography in Vitelliform Degeneration of
the Macula
Arch. Ophthal. 77, 726-733 (1967)
22. H. Gasteiger :
Augenheilkunde
De Gruyter Lehrbuch 3. Aufl.
23. P. GOURAS und R.E. CARR :
Electrphysical Studies in Early Retinitis
Pigmentosa
Arch. Ophthal. 74, 104-110 (1964)
24. N.R. Galloway :
Ophthalmic Electrodiagnosis
W.B. Saunders Corp. London, Philadelphia, Toronto
25. H.E. HENKES und P.C. VERDUIN :
Dysgenesis or Abiotrophy ?
Ophthalmologica 145, 144-160 (1963)
26. P. HOCHGESAND :
Elektro-okulographische Befunde bei intraokularem
Fremdkörper
Klin. Mbl. Augenheilk. 161, 93-96 (1972)

27. J.H. KELSEY :

Variations in the Normal EOG

Brit. J. Ophthal. 51, 44-49 (1967)

28. H.J. KOLDER :

Spontane und experimentelle Änderungen des Bestands-
potentials des menschlichen Auges

Pflügers Archiv 268, 258-272 (1959)

29. H.J. KOLDER :

Electro-Oculography

Ophthalmologica 169, 127-140 (1974)

30. W.R. MILES :

The Steady Polarity Potential of the Human Eye in
Subjects with Unilateral Enucleation

Proc. Natn. Acad. Sci. USA 25, 349-358 (1939)

31. W.R. MILES :

The Steady Polarity Potential of the Human Eye

Proc. Natn. Acad. Sci. USA 26, 25-36 (1939)

32. W. MÜLLER, H. KÖRBER und H.J. KÖRBER :

Der Einfluß der Präadaptation auf den Potentialver-
lauf des EOGs

A.v. Graefes Archiv 180, 317-324 (1970)

33. W. MÜLLER und E. HAASE :

Inter- und intraindividuelle Streuung im EOG

A.v. Graefes Archiv 181, 71-78 (1970/71)

34. W. MÜLLER, E. HAASE et al. :

Die Hellphase des EOG bei unterschiedlichen Beleuchtungsverhältnissen

A.v. Graefes Archiv 182, 35-36 (1971)

35. H.W. MÜLLER-LIMMROTH :

Der Einfluß der Belichtung auf das Bestandspotential des Froschauges

Z. Biol. 107, 275-283 (1954)

36. M. NIIRANEN :

Perforating Eye Injuries caused by Occupational Accidents treated at Helsinki University Eye Hospital
1970 - 1977

A.v. Graefes Archiv 211, 313-324 (1979)

37. F. REESER, G.W. WEINSTEIN, K. FEIOCK und R. OSER :

Electro-Oculography as a Test of Retinal Function;
the Normal and the Subnormal EOG

Amer. J. Ophthal. 70, 505-514 (1970)

38. A. PINCKERS und J.M. THIJSEN :

Flat Type Electro-Oculogramm

Acta ophthalm. 52, 429-440 (1974)

39. A. PINCKERS :

Clinical Electro-Oculography

Acta ophthalm. 57, 623-632 (1979)

40. R. RIX und F. EMMRICH :

Bemerkenswerte Verlaufsformen des Elektroretinogramms bei intraokularen Fremdkörpern

Ber. 76. Zusammenkunft der DOG 1979, 415-416

J.F. Bergmann, München 1979

41. B. SCHMIDT :

Elektrooculographische Untersuchungen bei Ablatio
retinae

A.v. Graefes Archiv 180, 20-30 (1970)

42. Sitzungsbericht der 48. Tagung der Württembergischen

Augenärztlichen Vereinigung (Vorsitz J.K. MÜLLER)

Kolloquium über Augenverletzungen

Klin. Mbl. Augenheilk. 143, 896-908 (1962)

43. G. TEN DOESSCHATE und J. TEN DOESSCHATE :

The Influence of the State of Adaptation on the
Resting Potential of the Eye

Ophthalmologica 132, 308-320 (1956)

44. G. TEN DOESSCHATE und J. TEN DOESSCHATE :

The Influence of the State of Adaptation on the
Resting Potential of the Eye (2nd communication)

Ophthalmologica 134, 183-193 (1957)

45. A. THALER, P. HEILIG und H. SLEZAK :

Sectorial Retinitis Pigmentosa

Bibltheca ophthal. 85, 38 (1976)

46. A. THALER, P. HEILIG und G. ZEHETBAUER :

Der Einfluß von Vitamin A ' Mangel auf das Elektro-
Okulogramm

A.v. Graefes Archiv 199, 187-190 (1976)

47. J.M. THIJSSSEN und A. PINCKERS :

Contralateral Effects in the Electro-oculogramm

Acta ophthalm. 52, 441-454 (1974)

Lebenslauf

Am 30. August 1957 wurde ich, Michael Erich Emmrich, als zweiter Sohn des Architekten Erich Emmrich und seiner Ehefrau Elisabeth Emmrich in Weiden geboren und im evang.-luth. Glauben erzogen. Von 1964 bis 1968 besuchte ich die Albert-Schweitzer-Volksschule in Weiden, von der ich an das Kepler-Gymnasium in Weiden überwechselte. Hier erwarb ich am 24. Juni 1977 das Zeugnis der allgemeinen Hochschulreife. Im Wintersemester 1977/78 begann ich das Studium der Zahnmedizin an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, das ich am 21. Juli 1983 mit dem Staatsexamen abschloß. Am 17. August 1983 erhielt ich die Approbation als Zahnarzt. Seit dem 3. Oktober 1983 leiste ich meinen Grundwehrdienst ab und bin seit 31. Oktober 1983 als Truppenzahnarzt in Bogen tätig.

Michael Emmrich

Druck: Copy Center 2000
Obere Karlstraße 30
8520 Erlangen